

Titre :	Rapport de collage et de mesure de 2 miroirs sur leur actionneur
Version :	1.0
Date :	06/03/2023
Auteur :	J. Floriot

Version	Date	Page	Description Of Change	Comment
1.0	06/03/2023		Première version	

Table des matières

1. Objectif du document	2
2. Description des composants	2
3. Procédure de collage	3
4. Contrôle de la forme du miroir par interférométrie Fizeau	6
5. Résultats obtenus sur le miroir M1	7
6. Résultats obtenus sur le miroir M2	11
7. Emballage des miroirs	15

1. Objectif du document

Ce document présente les résultats de collage et de mesure interférométrique (avant collage et après collage) de 2 miroirs plans traités sur leur actionneur.

2. Description des composants

Les miroirs sont des miroirs plans traités réfléchissant environ 85% du flux à 633nm. La face arrière est également polie.

Les miroirs les dimensions suivantes :

- ✓ Miroir M1 :
 - Diamètre : 12.7mm
 - Epaisseur : 3mm
- ✓ Miroir M2 :
 - Diamètre : 30mm
 - Epaisseur : 5mm

Les actionneurs PI sont identiques pour les 2 miroirs. Un exemple est visualisé sur la Figure 1. L'actionneur a un diamètre de 25mm environ. La vis au centre pose une difficulté pour le collage car la colle ne doit pas y pénétrer.



Figure 1 : Actionneur PI avec pièce de centrage (pièce en plastique noire) pour le centrage du miroir M2 sur l'actionneur

L'ONERA fournit également les pièces de centrage pour positionner précisément (environ 0.1mm de jeu) les miroirs sur leur actionneur. Les pièces sont en plastique (noir pour M2 comme sur la Figure 1 et blanc pour M1). Ces pièces sont des demi-coques serrées par des vis latérales qui permettent le centrage grâce aux 3 ailettes extérieures.

3. Procédure de collage

Des pièces d'interface (à coller préalablement sur les actionneurs) en Invar sont également prévues initialement par l'ONERA. Les miroirs sont alors collés par leur tranche sur ces pièces.

Après discussion et tests de positionnement sur un miroir spare, il a été décidé de supprimer ces pièces d'interface et de coller directement les miroirs sur les actionneurs par leur face arrière.

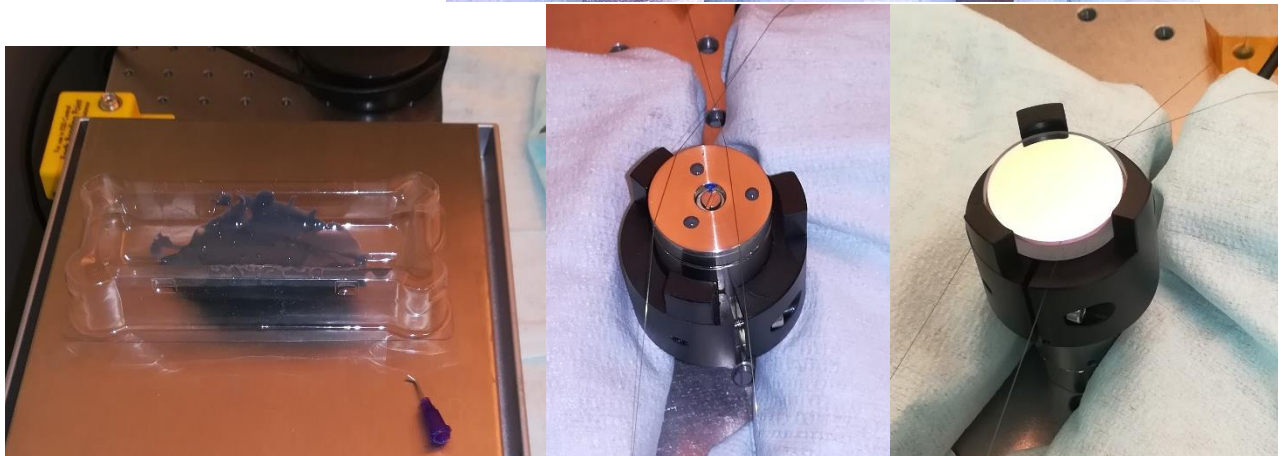
Les avantages sont multiples : simplification de la procédure de collage, diminution de la masse embarquée sur l'actionneur. Etant donné que l'environnement des miroirs sera contrôlé autour de la température ambiante, les effets thermiques attendus devraient rester faibles.

La procédure de collage (déroulée en salle propre ISO8) est identique pour les 2 miroirs. Les principales étapes sont décrites ci-dessous :

- ✓ Etape 1 : calage de l'actionneur sur la table optique (afin d'éviter que le câble électrique ne fasse basculer l'actionneur) et montage de la pièce de centrage
- ✓ Etape 2 : nettoyage à l'éthanol de l'actionneur
- ✓ Etape 3 : pointage au feutre de la position des 3 plots de colle à déposer
- ✓ Etape 4 : positionnement des fils de Nylon de 160 μ m d'épaisseur ; les fils sont légèrement tendus et fixé à l'aide du Kapton sur la table optique
- ✓ Etape 5 : préparation de la colle. La colle utilisée est la colle époxy bi-composant 2216 de 3M. Le mélange massique (7 parts de composé A et 5 parts de composé B) se fait à l'aide d'une balance. Le temps de travail de la colle est d'environ 45 minutes.
- ✓ Etape 6 : dépôt des 3 plots de colle à l'aide d'une tête d'aiguille. Etant donné le peu de place disponible pour le collage (vis centrale de l'actionneur à éviter ; fils Nylon à éviter), le volume à déposer est très faible et la station de collage motorisée n'est pas utilisable pour des colles aussi visqueuses. La quantité de colle déposée est prévue pour avoir des plots de colle de 2-3mm de diamètre (REX LAM sur les autres collages similaires réalisés dans le passé).
- ✓ Etape 7 : nettoyage de la face arrière du miroir à l'éthanol
- ✓ Etape 8 : pose du miroir à la main (légère pression pour bien écraser la colle et amener le miroir au contact des fils) et serrage léger de la pièce de centrage au contact des bords du miroir
- ✓ Etape 9 : contrôle visuel
- ✓ Etape 10 : protection de la surface et contrôle visuel après quelques heures ; retrait de la pièce de centrage (desserrage des vis). Retrait des fils Nylon au bout de 1 jour. Le temps de réticulation complète est de plusieurs jours (idéalement 7 jours). La composant est manipulables après 1-2 jours de réticulation.

Les photos de la Figure 2 illustrent quelques étapes décrites ci-dessus.

Les photos de la Figure 3 illustrent le cas du miroir M1.



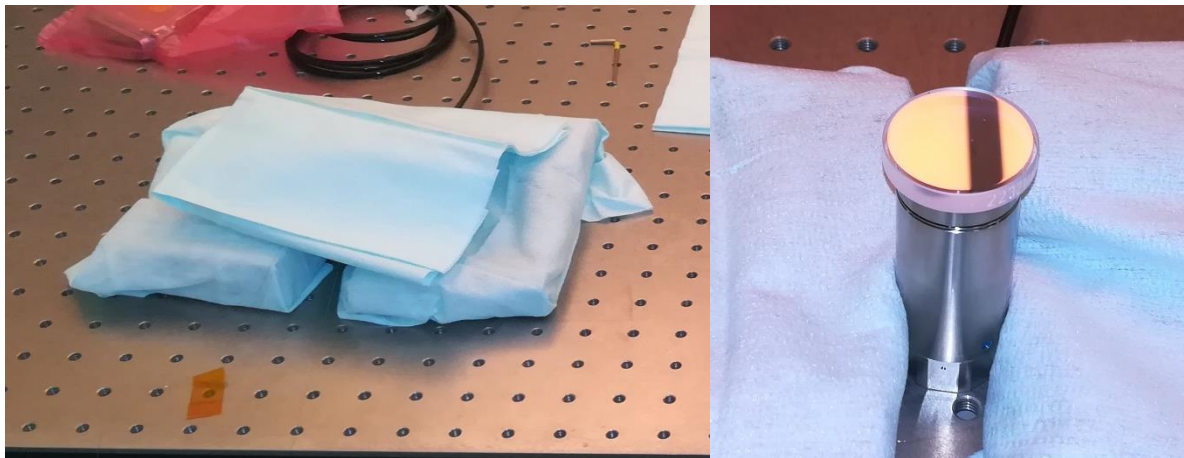


Figure 2 : Photos illustrant la procédure de collage pour M2. 1^{ère} ligne à gauche : étapes 1 et 2 ; 1^{ère} ligne au milieu : étape 3 ; 1^{ère} ligne à droite : étape 4 ; 2^{ème} ligne à gauche : étape 5 ; 2^{ème} ligne au milieu : étape 6 ; 2^{ème} ligne à droite : étapes 7 et 8 ; 3^{ème} ligne bas : étape 9 ; 4^{ème} ligne : étape 10

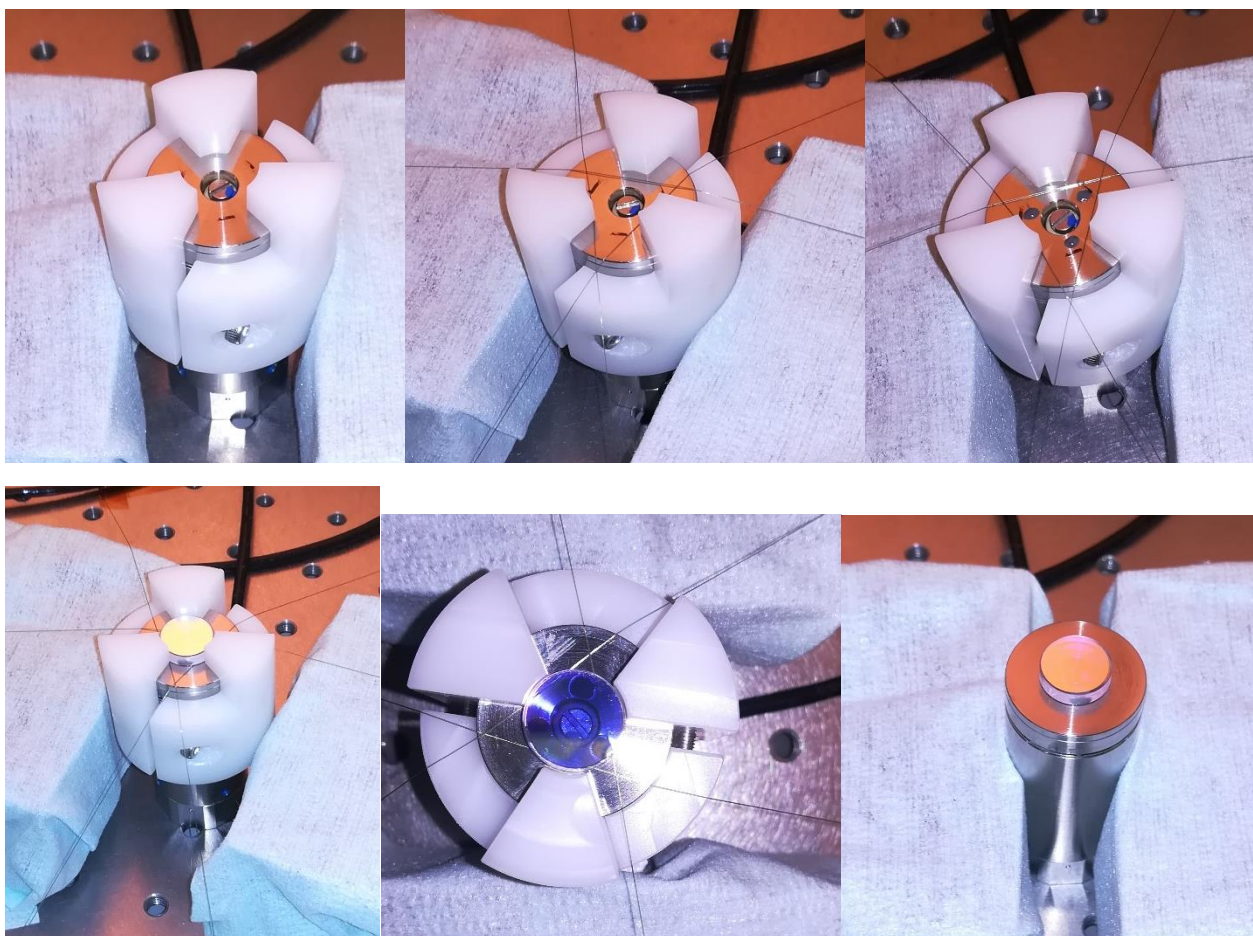


Figure 3 : Photos illustrant la procédure de collage pour M1. 1^{ère} ligne à gauche : étapes 1, 2 et 3 ; 1^{ère} ligne au milieu : étape 4 ; 1^{ère} ligne à droite : étapes 5 et 6 ; 2^{ème} ligne à gauche : étapes 7 et 8 ; 2^{ème} ligne au milieu : étape 9 ; 2^{ème} ligne à droite : étapes 10

4. Contrôle de la forme du miroir par interférométrie Fizeau

La forme plane du miroir est contrôlée par interférométrie Fizeau équipé d'un étalon plan d'interférométrie à $\lambda/50$ PTV à 633nm.

L'équipement utilisé est un interféromètre AccuFiz de 4D Technology. La Figure 4 montre une vue de l'interféromètre.

Les caractéristiques et performances de l'interféromètre sont listées ci-dessous :

- ✓ Laser He-Ne stabilisé à 632.8nm
- ✓ Diamètre de faisceau : 100mm
- ✓ Résolution caméra : 2000 x 2000 pixels
- ✓ Technique de mesure : phase-shifting
- ✓ Précision et résolution : sub-nanométrique

L'environnement de mesure n'est pas de type salle propre. Il s'agit d'un laboratoire d'optique classique (type salle grise). Cet interféromètre a été choisi pour la mesure car les miroirs ont des diamètres petits devant la pupille de 100mm de nos interféromètres. L'AccuFiz offre une très bonne résolution spatiale avec ses 2000 x 2000 pixels, ce qui permet d'échantillonner correctement ces miroirs.

Les mesures sont effectuées à la température ambiante et à l'hygrométrie ambiante. La salle est contrôlée par une CTA à 20°C +/- 2°C et 50% +/- 20% pour la température et l'hygrométrie respectivement.

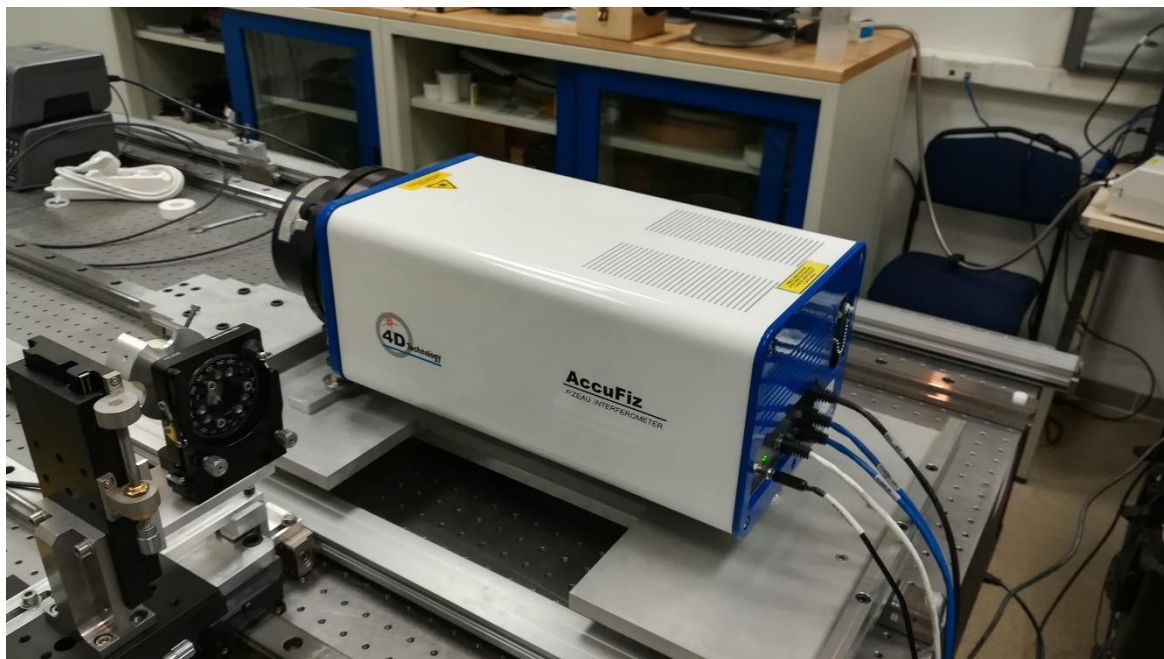


Figure 4 : Interféromètre de Fizeau AccuFiz de 4D Technology

Remarque importante sur les conditions de mesure :

- ✓ Les miroirs sont traités. La réflexion à 633nm est de l'ordre de 85% au lieu des 4% idéaux pour avoir un contraste de frange optimal (l'étalon réfléchissant 4%). Le contraste de franges est donc très moyen. L'interféromètre réussi à « accrocher » en rajoutant volontairement quelques franges de tilt (typiquement une dizaine en tiltant le miroir). La robustesse de l'AccuFiz permet de réaliser ceci.
- ✓ La face arrière des miroirs n'est pas dépolie. Nous sommes donc gênés par la réflexion face arrière, les miroirs étant fabriqués à partir de substrats plans à faces parallèles. Des artefacts hautes fréquences sont donc présents dans les mesures interférométriques. L'influence du collage ne pouvant influencer uniquement sur les basses fréquences spatiales (bas ordres de Zernike), nous considérons que ces hautes fréquences sont uniquement des artefacts dus à la face arrière.

La figure 5 donne des vues du miroir M2 en mesure avant et après collage. Avant collage, le miroir est positionné dans un support avec réglages tip-tilt et XY. Après collage, le miroir collé sur l'actionneur est positionné sur un vé (le tout monté sur un assemblage tip-tilt et XY).

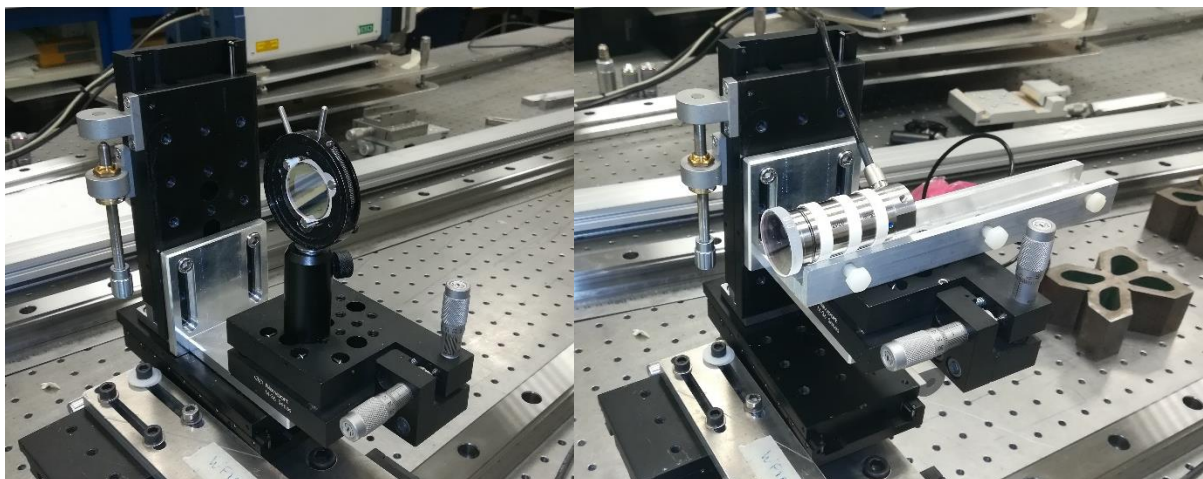


Figure 5 : Photos montrant le miroir M2 en métrologie avant (à gauche) et après (à droite) collage

5. Résultats obtenus sur le miroir M1

Le moyennage des mesures est de 50.

La Figure 5 donne l'erreur de forme de M1 sur une pupille de 12.7mm et 10mm avant et après collage.

Des traces de polissage typiques sont observables (cercles concentriques). Des effets de bord sont également notables (bords rabattus) sur la zone totale de 12.7mm qui se traduisent par de l'aberration sphérique (terme dominant).

L'erreur de forme est de :

- ✓ Sur 12.7mm : 17.7nm RMS avant collage et 28.0nm RMS après collage.
- ✓ Sur 10mm : 8.3nm RMS avant collage et 11.4nm RMS après collage.

L'effet de la colle est principalement un effet sur l'aberration sphérique, moins visible sur la zone réduite à 10mm.

L'effet colle est globalement très faible. En terme de valeur RMS globale, on peut l'évaluer à 21.7nm RMS sur 12.7mm et 7.38nm RMS sur 10mm.

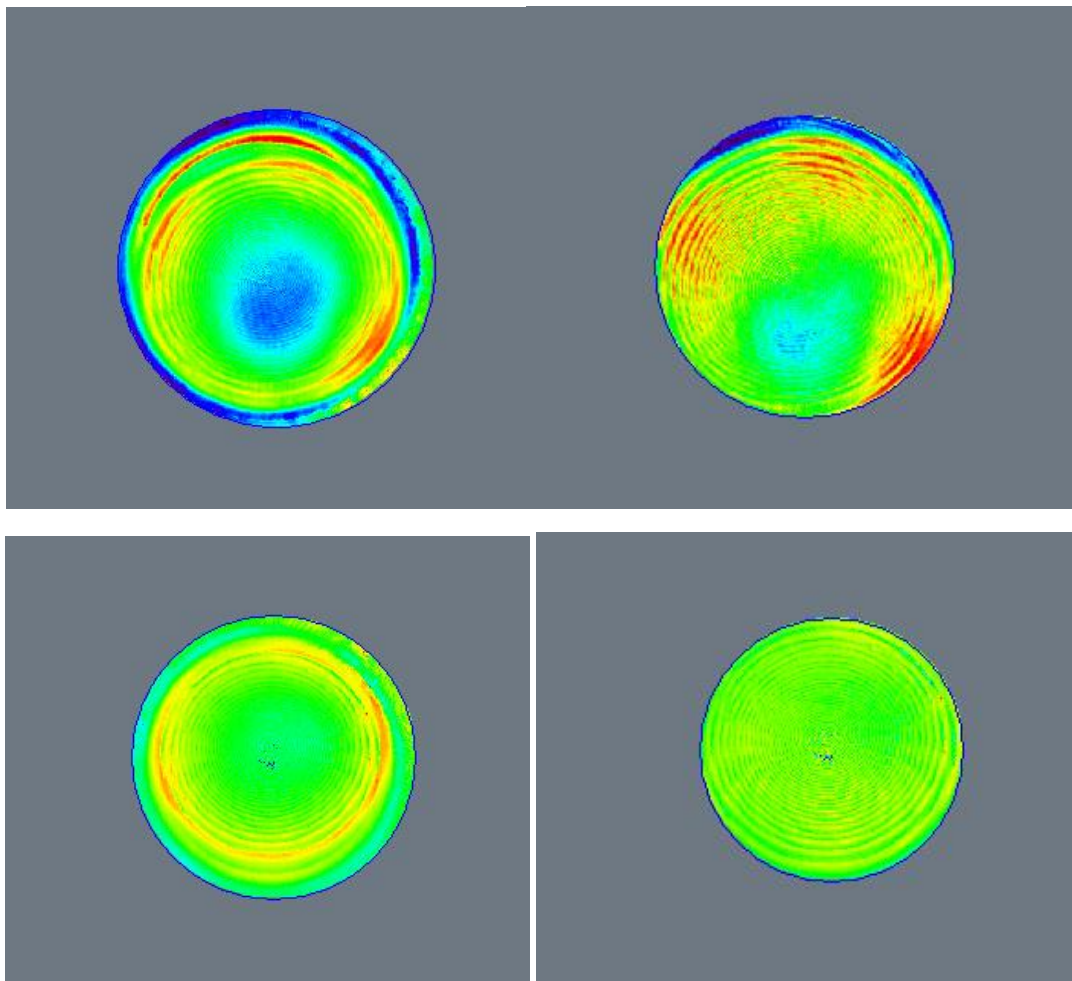


Figure 6 : Surface du miroir M1 avant et après collage. En haut à gauche : avant collage sur une pupille de 12.7mm ; en haut à droite : avant collage sur une pupille de 10mm ; en bas à gauche : après collage sur une pupille de 12.7mm ; en bas à droite : après collage sur une pupille de 10mm.

La Figure 7 donne les coefficients RMS de la décomposition sur les 36 premiers polynômes RMS de Zernike pour le miroir M1.

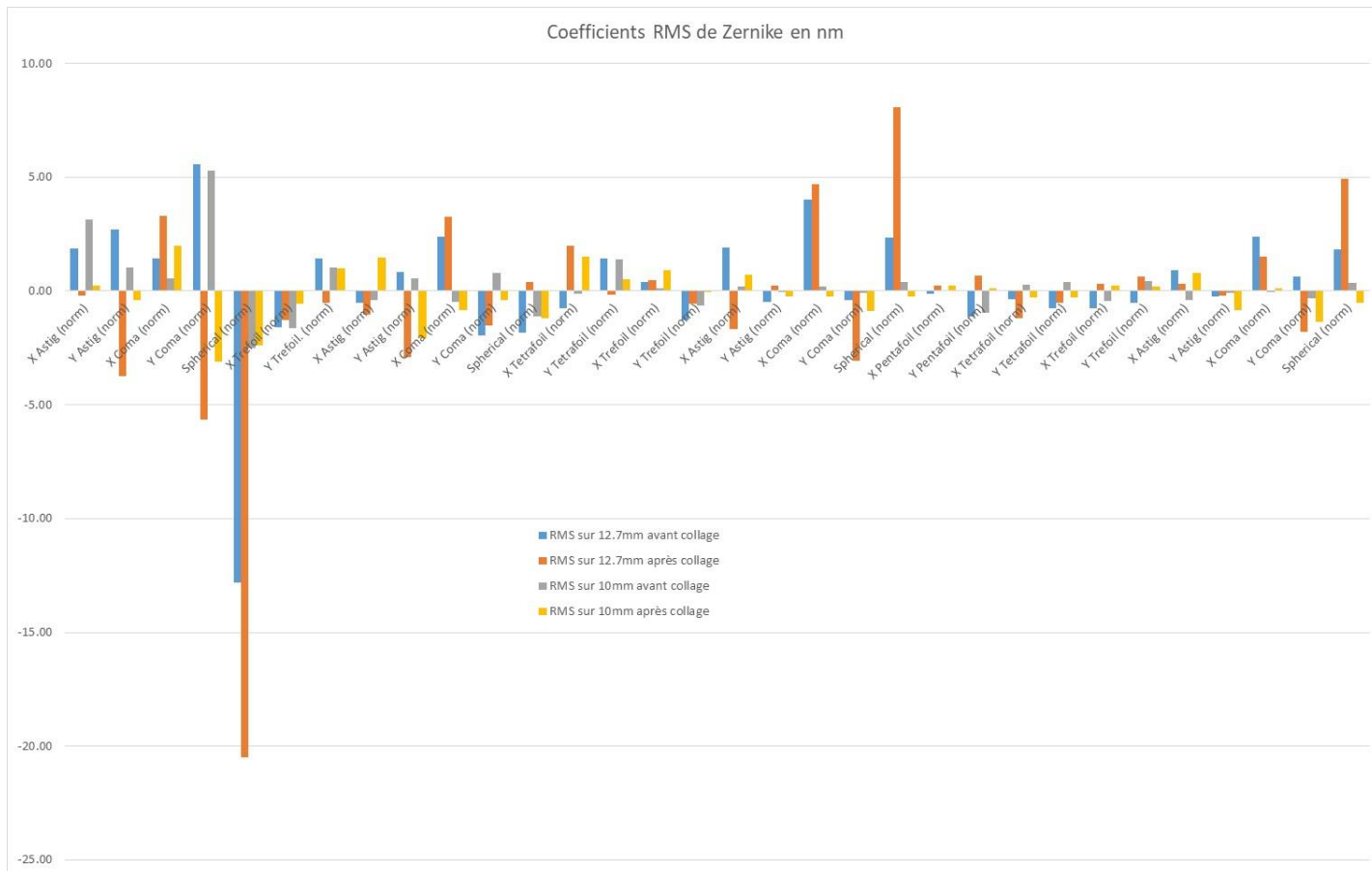


Figure 7 : Coefficients RMS de la décomposition sur les 36 premiers polynômes de Zernike pour M1 avant et après collage.

Les tableaux de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** donnent les valeurs précises des coefficients de Zernike. A noter que l'orientation du miroir n'est pas assurée d'être la même entre les mesures avant et après collage. Il a été difficile de conserver une orientation contrôlée du miroir par rapport à l'actionneur lors de sa pose manuelle lors di colle ; de même, lors des mesures, les supports optomécaniques ne sont pas les mêmes avant et après collage et les contraintes de positionnement liées aux câbles électriques des actionneurs font que l'orientation identique n'est pas assurée. En conclusion, une comparaison terme à terme des coefficients de Zernike est hasardeuse (même si nous les donnons ci-dessous) excepté pour les termes avec symétrie de révolution comme l'aberration sphérique. Par contre, les comparaisons des valeurs RMS globales sont valides.

Termes de Zernike	Valeurs sur 12.7mm (nm RMS)	Valeurs sur 10mm (nm RMS)
X Astig (norm)	1.87	3.12
Y Astig (norm)	2.69	1.03
X Coma (norm)	1.44	0.56
Y Coma (norm)	5.58	5.28
Spherical (norm)	-12.79	-2.52
X Trefoil (norm)	-1.60	-1.62
Y Trefoil. (norm)	1.41	1.02
X Astig (norm)	-0.52	-0.39
Y Astig (norm)	0.84	0.57
X Coma (norm)	2.40	-0.48
Y Coma (norm)	-1.97	0.79
Spherical (norm)	-1.84	-1.12
X Tetrafoil (norm)	-0.77	-0.13
Y Tetrafoil (norm)	1.43	1.39
X Trefoil (norm)	0.41	0.13
Y Trefoil (norm)	-1.27	-0.63
X Astig (norm)	1.89	0.19
Y Astig (norm)	-0.48	-0.03
X Coma (norm)	4.01	0.19
Y Coma (norm)	-0.40	-0.06
Spherical (norm)	2.33	0.39
X Pentafoil (norm)	-0.12	0.05
Y Pentafoil (norm)	-1.12	-0.96
X Tetrafoil (norm)	-0.37	0.26
Y Tetrafoil (norm)	-0.77	0.38
X Trefoil (norm)	-0.75	-0.45
Y Trefoil (norm)	-0.52	0.42
X Astig (norm)	0.92	-0.39
Y Astig (norm)	-0.24	-0.10
X Coma (norm)	2.40	-0.03
Y Coma (norm)	0.63	-0.31
Spherical (norm)	1.83	0.37
RMS total (nm)	17.7	8.3

Termes de Zernike	RMS sur 12.7mm après collage	RMS sur 10mm après collage
X Astig (norm)	-0.21	0.22
Y Astig (norm)	-3.72	-0.38
X Coma (norm)	3.30	1.98
Y Coma (norm)	-5.63	-3.11
Spherical (norm)	-20.47	-2.37
X Trefoil (norm)	-1.29	-0.56
Y Trefoil. (norm)	-0.53	0.98
X Astig (norm)	-1.04	1.46
Y Astig (norm)	-2.91	-2.09
X Coma (norm)	3.26	-0.83
Y Coma (norm)	-1.53	-0.39
Spherical (norm)	0.41	-1.20
X Tetrafoil (norm)	2.00	1.51
Y Tetrafoil (norm)	-0.15	0.50
X Trefoil (norm)	0.47	0.89
Y Trefoil (norm)	-0.56	-0.06
X Astig (norm)	-1.65	0.70
Y Astig (norm)	0.24	-0.25
X Coma (norm)	4.67	-0.23
Y Coma (norm)	-3.08	-0.89
Spherical (norm)	8.08	-0.23
X Pentafoil (norm)	0.23	0.25
Y Pentafoil (norm)	0.68	0.12
X Tetrafoil (norm)	-1.18	-0.26
Y Tetrafoil (norm)	-0.53	-0.26
X Trefoil (norm)	0.32	0.23
Y Trefoil (norm)	0.65	0.21
X Astig (norm)	0.32	0.80
Y Astig (norm)	-0.22	-0.86
X Coma (norm)	1.50	0.13
Y Coma (norm)	-1.78	-1.35
Spherical (norm)	4.93	-0.51
RMS total (nm)	28.0	11.4

Figure 8 : Décomposition de Zernike de l'erreur de forme du miroir M1 avant collage (tableau du haut) et après collage (tableau du bas)

6. Résultats obtenus sur le miroir M2

Le moyennage des mesures est de 50.

La Figure 9 donne l'erreur de forme de M2 sur une pupille de 30mm et 27mm avant et après collage.

Des traces de polissage typiques (cercles concentriques et des effets de bords rabattus sur la zone complète de 30mm) sont également observables comme sur M1. L'aberration sphérique est également ici le terme dominant.

L'erreur de forme est de :

- ✓ Sur 30mm : 92.4nm RMS avant collage et 61.9nm RMS après collage. La rétreint de la colle aurait pour effet ici d'améliorer la valeur RMS globale. A noter que le miroir M2 est plus flexible que M1 (diamètre plus grand pour une épaisseur sensiblement la même).
- ✓ Sur 27mm : 13.4nm RMS avant collage et 20.9nm RMS après collage.

L'effet de la colle est principalement un effet sur l'aberration sphérique, moins visible sur la zone réduite à 27mm. L'effet colle est globalement très faible. En terme de valeur RMS globale, on peut l'évaluer à 68.6nm RMS sur 30mm et 16.0nm RMS sur 27mm.

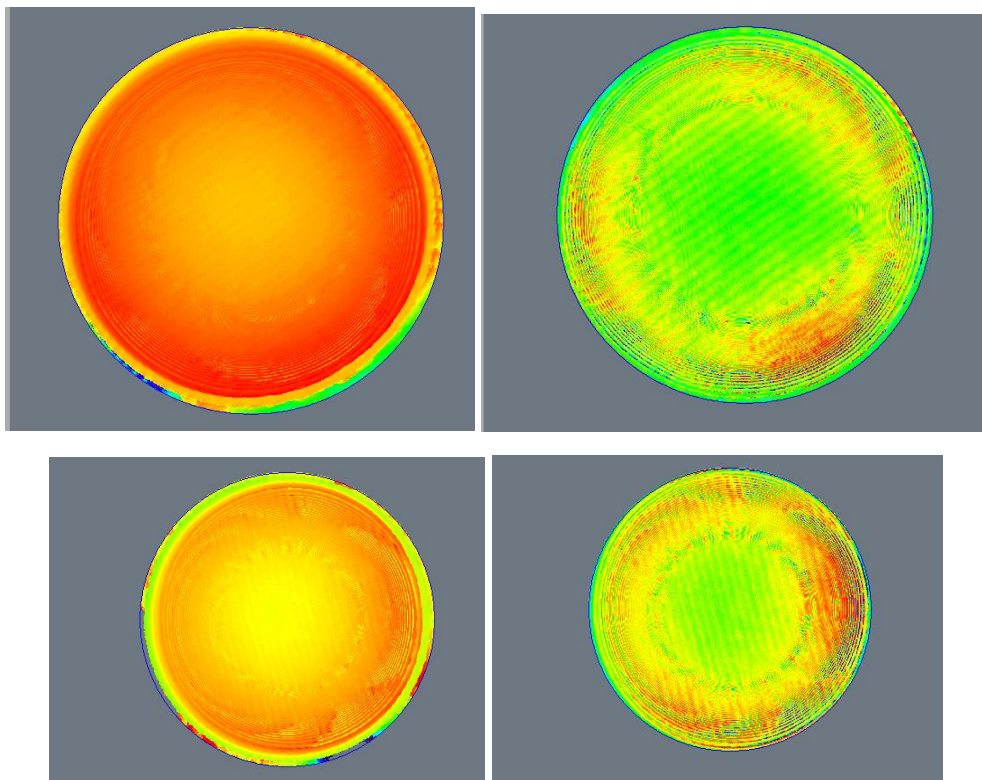


Figure 9 : Surface du miroir M2 avant et après collage. En haut à gauche : avant collage sur une pupille de 30mm ; en haut à droite : avant collage sur une pupille de 27mm ; en bas à gauche : après collage sur une pupille de 30mm ; en bas à droite : après collage sur une pupille de 27mm.

La Figure 10 donne les coefficients RMS de la décomposition sur les 36 premiers polynômes RMS de Zernike pour le miroir M2.



Figure 10 : Coefficients RMS de la décomposition sur les 36 premiers polynômes de Zernike pour M2 avant et après collage.

Les tableaux de la Figure 11 donnent les valeurs précises des coefficients de Zernike.

Les mêmes commentaires que pour M1 peuvent être ici (pour M2) concernant l'orientation du miroir avant et après collage.

Termes de Zernike	RMS sur 30mm avant collage	RMS sur 27mm avant collage
X Astig (norm)	8.37	-0.31
Y Astig (norm)	-7.31	-0.96
X Coma (norm)	-5.97	-0.48
Y Coma (norm)	-21.86	-0.49
Spherical (norm)	-56.77	-6.10
X Trefoil (norm)	1.42	-2.45
Y Trefoil. (norm)	-3.50	0.22
X Astig (norm)	8.92	0.59
Y Astig (norm)	-5.42	-1.02
X Coma (norm)	-1.50	-0.24
Y Coma (norm)	-19.53	-0.29
Spherical (norm)	-34.56	-1.43
X Tetrafoil (norm)	9.90	0.32
Y Tetrafoil (norm)	1.35	-0.67
X Trefoil (norm)	3.05	0.65
Y Trefoil (norm)	-3.90	0.00
X Astig (norm)	6.45	-0.43
Y Astig (norm)	-2.26	-0.47
X Coma (norm)	3.28	0.55
Y Coma (norm)	-15.32	-0.08
Spherical (norm)	-16.08	0.54
X Pentafoil (norm)	-1.10	-0.61
Y Pentafoil (norm)	8.69	0.12
X Tetrafoil (norm)	8.12	-0.32
Y Tetrafoil (norm)	0.77	0.28
X Trefoil (norm)	-0.42	-0.23
Y Trefoil (norm)	-3.45	-0.09
X Astig (norm)	4.91	-0.42
Y Astig (norm)	0.05	-0.40
X Coma (norm)	5.58	0.42
Y Coma (norm)	-10.39	0.35
Spherical (norm)	-3.27	0.64
RMS total (nm)	92.4	13.4

Termes de Zernike	RMS sur 30mm après collage	RMS sur 27mm après collage
X Astig (norm)	0.65	-1.78
Y Astig (norm)	-7.11	-0.98
X Coma (norm)	-4.39	-1.39
Y Coma (norm)	-5.89	-0.57
Spherical (norm)	-37.10	-7.75
X Trefoil (norm)	6.98	1.37
Y Trefoil. (norm)	1.66	-1.22
X Astig (norm)	2.97	-2.86
Y Astig (norm)	-6.74	-0.10
X Coma (norm)	-3.45	0.55
Y Coma (norm)	-4.72	0.31
Spherical (norm)	-15.39	-2.06
X Tetrafoil (norm)	-0.68	-0.14
Y Tetrafoil (norm)	9.68	0.45
X Trefoil (norm)	6.16	-1.15
Y Trefoil (norm)	3.19	0.31
X Astig (norm)	6.70	-0.90
Y Astig (norm)	-6.15	0.42
X Coma (norm)	-3.99	1.33
Y Coma (norm)	-3.97	0.28
Spherical (norm)	-0.25	0.22
X Pentafoil (norm)	-3.94	-0.90
Y Pentafoil (norm)	2.36	0.39
X Tetrafoil (norm)	-0.18	-0.87
Y Tetrafoil (norm)	8.96	0.47
X Trefoil (norm)	8.28	-0.25
Y Trefoil (norm)	2.27	0.06
X Astig (norm)	6.00	-0.76
Y Astig (norm)	-5.45	0.44
X Coma (norm)	-4.22	1.66
Y Coma (norm)	-2.87	0.21
Spherical (norm)	7.92	-0.19

Figure 11 : Décomposition de Zernike de l'erreur de forme du miroir M2 avant collage (tableau du haut) et après collage (tableau du bas)

7. Emballage des miroirs

L'emballage des miroirs est décrit ci-après (figure 12). La stratégie est de protéger la surface traitée des miroirs, sans risque de contact. Pour cela nous utilisons les pièces de centrage que l'on serre contre le corps

des actionneurs après insertion d'une surépaisseur de plastique ; de cette manière, il est possible de serrer les pièces de centrage avec les vis latérales sans contact latéral avec la tranche des miroirs.

La hauteur des pièces de centrage est ajustée de sorte que le haut des ailettes restent largement au-dessus de plusieurs mm de la surface des miroirs.

On encapsule le tout dans 2 pièces en plastique noir rectangulaires que l'on solidarise avec du Kapton. La pièce inférieure est percée d'un trou central pour permettre de circuler le long de l'actionneur ; elle est maintenue en position par des vis Nylon vissées au contact de la pièce de centrage. Le petit gap d'air entre les pièces est fermé également avec du Kapton.

Ainsi scellé, les actionneurs sont rangés dans leur sachet bulles et fermé avec du Kapton. Le tout est placé dans la Pelicase initiale.



Figure 12 : Emballage des miroirs. En haut à gauche : surépaisseur autour de l'actionneur avant mise en place de la pièce de centrage noire en demi parties ; en haut à droite : mise en place des boîtes rectangulaires ; en bas : actionneur protégé placé dans son sac scellé.

Pour déballer, il faut suivre les étapes suivantes :

- ✓ Déballer l'actionneur de son sachet et le placer sur une table ; le caler.
- ✓ Couper (au scalpel ou au cutter) le Kapton bouchant le gap d'air entre les 2 pièces rectangulaires.
- ✓ Couper (au scalpel ou au cutter) le Kapton solidarissant les 2 pièces rectangulaires
- ✓ Retirer la pièce rectangulaire supérieure ; le miroir sera alors visible et accessible.
- ✓ Dévisser les 2 vis Nylon et retirer la pièce rectangulaire inférieure par le haut également. Eviter tout contact avec le miroir.
- ✓ Retirer la pièce de centrage en dévissant les 2 vis latérales.
- ✓ Retirer la surépaisseur en plastique beige. Attention à bien tenir le tout.